



自作できる 水晶フィルター

—SSB機自作の必需品—

J A 1 H W O 菊地 正之

SSB機を製作する過程で、どうしても必要なのが水晶フィルターです。現在市販されているほとんどのリグが水晶フィルターを使ってSSB信号を作っています。

自作の場合でも作りやすさや、性能の点で「フェージング・タイプ」よりも圧倒的に「水晶フィルター式」で作られています。

“SSB=水晶フィルター”といっても過言ではありません。ところがフィルターは従来から自作できない部品の一つと思い込まれ、

長い間忘れられてきたのです。

そこで簡単に水晶フィルターができないのかと実験をしました。

ラダー型フィルター

水晶を使ったフィルターには「ラティス型」や「ラダー型」があつて、アマチュアにはラダー型フィルターが主に使われています。

ラダー型は「はしご」に形が似ているのでその名が付けられたようで、これも「LSB型」と「U

SB型」があります(第1図)。

文字どおりLSB、USBの特性を持ったフィルターを作ることができ、これまでUSB型について実験をしてきましたが(サンプル数は少ない)、良好な特性のものを作ることはできませんでした。

これに対して、LSB型は作りやすく、段数を重ねるとバンドパス・フィルターになるので、アマチュアが作るフィルターは一般にLSB型を指すことが多くなっています。

過去には、HAM Journal No. 44(1986年秋号)にJ A 6 B I 田縁氏が発表し、その作り方を詳しく紹介しています。

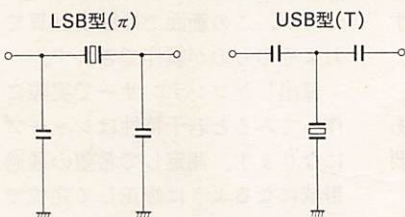
今回はその製作方法から、手を抜いて作る方法はないものかと考え、実験をしたものです。

●SSB用のフィルター

SSB用としてどのような特性が要求されるのか、作るものを先に決めなくてははいけません。音声は3kHzが通過すればよいのは知られているところで、占有周波数帯幅は2.7kHzあたりが妥当な値でしょう。

しかし完璧なフィルターはありませんので、特性の甘さも含めて2.5kHz、混信のことを考えれば2~2.5kHzで作ればよいのではと考えました。

第1図 ラダー型フィルターの構成



第2図 水晶の共振

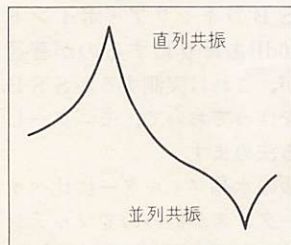
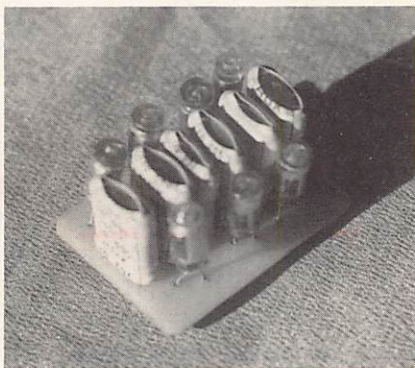


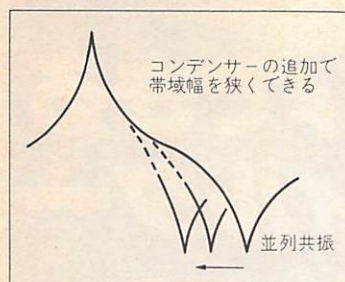
写真1 アマチュアの自作に手ごろなのは6段~8段の構成のもの



第1表 メーカー製水晶フィルターの表示例

メーカー	金石舎製(6個とも)
中心周波数	11.2735MHz
-6dB	2.2kHz
-60dB	3.7kHz
帯域比	1:1.7

第3図 通過帯域の設定方法



事実、市販のHF機のフィルターは2kHzのものがオプションとして売られており、CWのほうは一応500Hzあたりが目安になっているようです。

ただ自作の場合、このあたりまでくると測定器がないので、アマチュアにとっては製作が厳しくなり、さらにLSB型でCW用を作ろうとするとその構成上インピーダンスが低くなり過ぎてさらに作りづらくなります。

●特性の表し方

フィルターの特性は型状比で表し-6dBおよび-60dBの比で表すのが一般的です。SSBで[1:2]、CWで[1:3]前後とするのが普通です。これを「スカート特性」とも呼び、特性は[1:1]が理想です。

メーカー製のものを調べてみたところ、第1表のようになりました。水晶6個のものでなかなか特性は良好でこのあたりを目標にしたいのですが…。

アマチュアには中古水晶でも安くはありませんので、6~8段構成で作ります(写真1)。

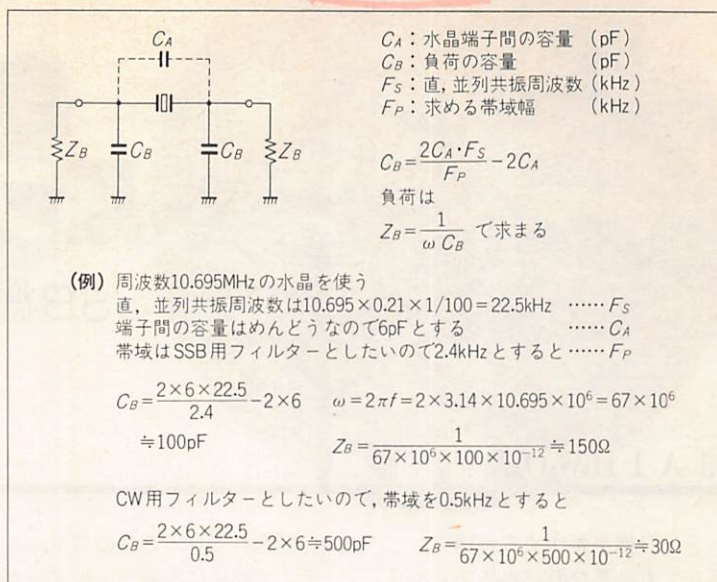
●どうしてフィルターになるのか

第2図を見てください。水晶は「直列共振点」と「並列共振点」を持っており、インピーダンスの低い「直列共振点」を重ねると共振点がシャープになり、フィルターとなります。

その重ね具合を変えると特性を変えることができるので、フィルターとして動作するのです。

このとき使う水晶は「直列共振

第4図 容量(C_B)の求め方



点が合っていること」が条件で、特にCWのような狭い帯域特性を要求する場合、共振点がそろわないとフィルターができません。

ラダー型のフィルターは、水晶の間をコンデンサーで接地すると並列共振点が下がり、直列共振点の帯域幅が狭くなります。第3図のようにこれを積極的に利用すると通過帯域を自由に設定できるようになります。

自由といっても直列共振と並列共振の間で、作りやすさを考慮すると帯域の半分以下となります。

●設計

水晶フィルターを作る前に、あらかじめ次の三つのデータが必要です。

1. 共振周波数: これは水晶に書かれているものでOK。中心周波数はこれで決まる
2. 直列共振点と並列共振点の周波数: これは測定しないとわからないが、手元の水晶を調べた結果7~15MHzまでならおよそ表示周波数の0.21%とみてよいことがわかった。実測がベストだが、HC-18/U, HC-25/Uのものはこの値が使える
3. 端子間の容量: これは単に容

量を調べる。範囲は、およそ4~8pFで、調べ方は容量計がいちばん簡単。もし測定できない場合は、中間の6pFとする。

3の端子間の容量は特性に大きな影響を与えるので、できれば測定したい重要なポイントです。また、通過帯域は付加するコンデンサーで決まり、求め方は第4図のようになります。

7~15MHz以外の周波数はデータを実測しないと正確には出ませんが、この範囲では簡易計算でおよそのものが製作できます。

算出したコンデンサーで実際に作ってみると若干特性はシャープになります。測定して希望の通過帯域になるように修正して完成です。したがって、計算式は目安と思ってください。

SSBのキャリア・ポイントは-30dBあたりにするのが普通ですが、これは実測するかSSB信号を作っておいて、モニターしながら決めます。

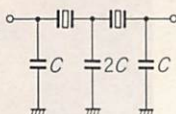
市販の水晶フィルターに比べインピーダンスが低いのでマッチング回路も必要です。

CWの場合、インピーダンスが低いだけではなく、通過ロスも多

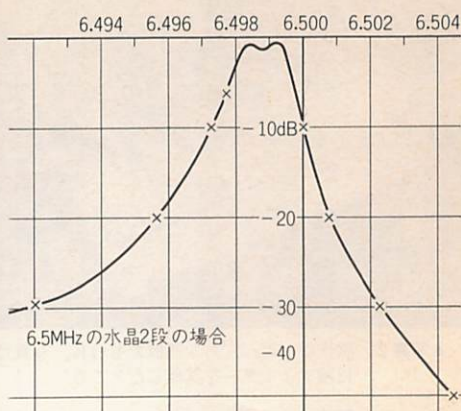
	11.755MHz	※2 10.695MHz	14.990MHz	6.500MHz
- 6dB	2.3kHz	2.4kHz	2.5kHz	2.1kHz
-10	2.9	3.0	3.1	2.7
-20	5.1	5.6	4.8	5.1
-30	9.4	10.5	11.0	10.3
-40 ※1	14.7	21.1	19.5	25.1
使用C	120~250pF	50~100pF	150~300pF	50~100pF
端子間	6.8pF	3.6pF	6.8pF	4.7pF
直並列	24kHz	24kHz	28kHz	14.5kHz

※1 -40dBは広すぎて比較の意味が薄い

※2 6段フィルターのものとは別のメーカー製である

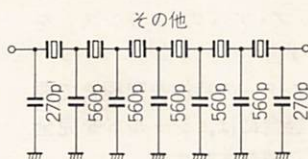
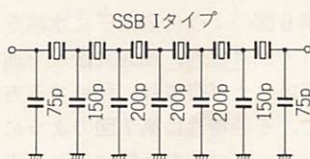


第2表 2段フィルターの特性例

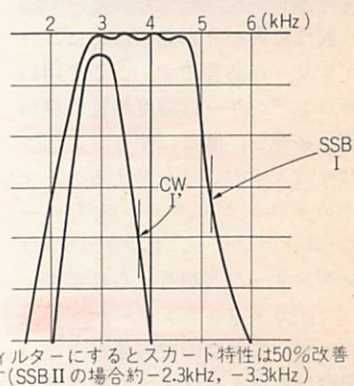


タイプ	帯域特性	使用コンデンサー	負荷
CW I	-6dB 700Hz -60dB 1800Hz	270pF -560pF	55Ω
II	-6dB 650Hz -60dB 1400Hz	330pF -680pF	45Ω
III	-6dB 420Hz -60dB 1200Hz	500pF -1000pF	30Ω
SSB I	-6dB 2.7kHz -60dB 5.5kHz	75pF (150) -200pF	198Ω
II	-6dB 2.3kHz -60dB 4.3kHz	100pF -200pF	148Ω

周波数10.695MHz, 端子間容量5.8pF, 直並列共振周波数24kHz(いずれも実測)



第3表 6段フィルターの特性例



12段フィルターにするとスカート特性は50%改善されます(SSB IIの場合約-2.3kHz, -3.3kHz)

なので、SSBからCWへ切り替えた場合、「感度が悪くなる」という点は外部で調整するか、感度低下を容認するしかありません。

●特性を調べる

簡単な2段フィルターを使って特性を調べてみました(第2表)。その結果(サンプル量は少ない)次のような特徴がみられます。

- 同じコンデンサーを使った場合、周波数が2倍になると通過帯域もほぼ2倍になる(端子間の容量が同じ場合)
- 入出力のインピーダンスはコンデンサーが周波数の影響を受け、周波数が高くなると低下する
- 周波数が変わっても-6dB(-10dB)の通過帯域を合わせれば、同じ段数ならスカート特

性は似たものになる

このことは、同じ周波数の水晶でなくても段数が同じならそこそこのフィルターができることを表しています。これによって再現性が高くなりました。

●まとめ

LSB型のラダー・フィルターは4~6段にもなると性能が上がってくるのでLSB, USBの差がなくなってきました。逆にLSB型のほうが良くなるというところでしょうか。

また、どうせ水晶を使うのであれば、キャリア・ポイントの発振にも使いたい...という欲が出てきます。

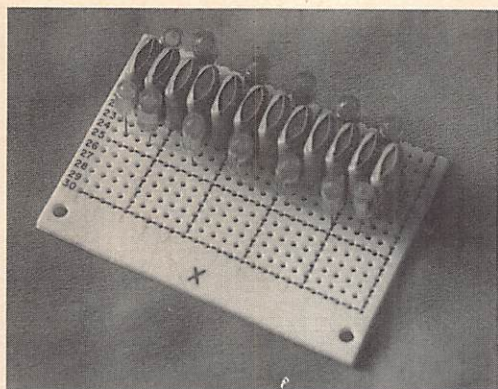
USB型にするには発振周波数をさらに3kHzも引き下げなければならず、安定度のことを考えて

もキャリア・ポイントはLSB型のほうがよいでしょう。

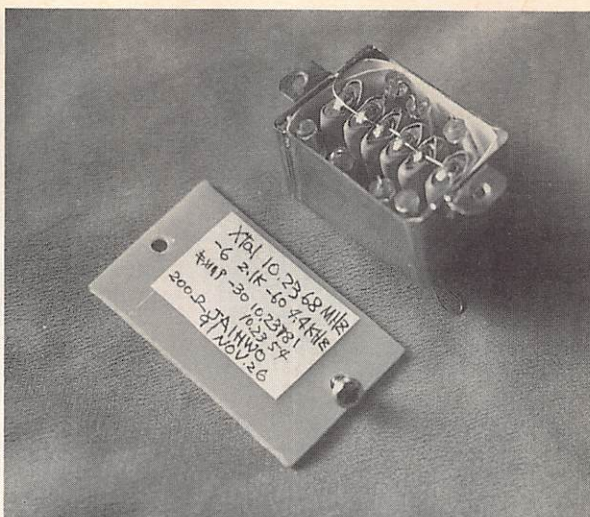
通過帯域は並列共振を引き下げて帯域を狭くしています。したがって狭くすればするほど中心周波数は下がることになります。

SSBとCWのコンビのフィルターの場合は第3表のようにCWを700Hzにするとうまくいきそうです。

USBをキャリア・ポイントとすれば、聞きやすい800Hzぐらいの音になるので、SSBとのコンビにはぴったりとなりましょう。こうすると、当然のことですが、送信は「800Hz UP」となります。通過帯域を500Hzにするとキャリア・ポイントに接近しすぎて、この場合はうまくいきません。



▲写真2 試作なら、穴あき基板でもOK。写真は12段フィルターを試作したところ



▶写真3 完成した水晶フィルターをシールド・ボックスに入れてデータを書き込んだところ

実際に作ってみる

製作にあたり水晶のほかにコンデンサーが必要です。ここで用いるコンデンサーは温度特性の良い物が必要で、個々に使うコンデンサーは入手のことを考えると、マイカ・コンデンサー、スチロール・コンデンサー、セラミック・コンデンサーなどが考えられます。

マイカ・コンデンサーがベストですが、高価なので容量が少ない場合はセラミック・コンデンサー（温度特性の良いもの；黒印なし）、200pF以上はスチロール・コンデンサーを使いましょう。

基板は専用で作るか、試作なら市販の穴あき基板でも写真2のように実験できます。

予備実験でOKになったら銅板でシールドした箱に入れて、外部からの影響を回避します（写真3）。特にCWの場合、インピー

ダンスが低いので注意します。

使用について

SSB用に作ったものは150Ω、CW用ですと30Ωとインピーダンスが低いので、マッチングに注意してください。簡単にインピーダンスを合わせるには第5図のように「ステップ・アップ・トランス」を付けます。

フィルターの特性を究極まで要求する場合には、シールドを完全にする必要があります。

キャリア・ポイント用水晶発振は表示周波数より大きく引き下げた場合、安定度が良くないので使うときは注意してください。

その他のフィルター

前記のLSB型ラダー・フィルターの他に、いろいろなフィルターが使われていますので、簡単に特徴を見ておきましょう。

●接地式のフィルター（USB型）

その型式からインピーダンスが高くなります。並列共振点が接続の容量によって大きく左右されるので、その周波数合わせがむずかしいという難点もかかえています。

・全素子水晶方式

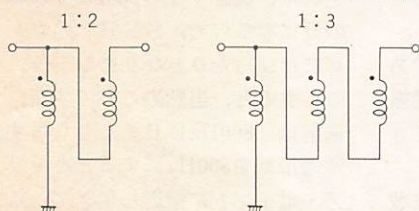
第6図のように全素子に水晶を使う方式は直列、並列共振点を通過帯域および帯域外に利用する方式で、その特性は第7図のように深いディップ点を両脇に持ち、市販品ではセラミック・フィルターのカタログに見受けられます。

使い方は他のフィルターと同じですがLCの共振回路と組み合わせることで両脇の甘い特性を減衰させることができます。

第8図は3.58MHzの水晶を使ったものでC_Bを並列に入れると特性を改善することができます。

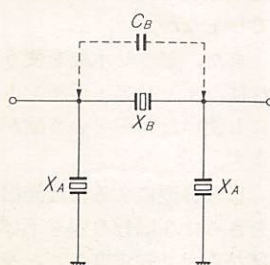
●メーカー製の水晶フィルター

第5図 ステップ・アップ(ダウン)・トランスの例

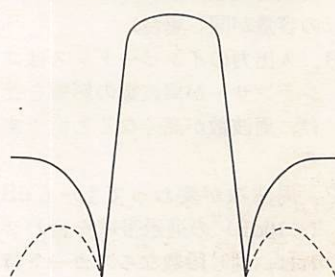


0.3φエナメル線トリファイラ3回巻き
FB-801-43に巻き込む

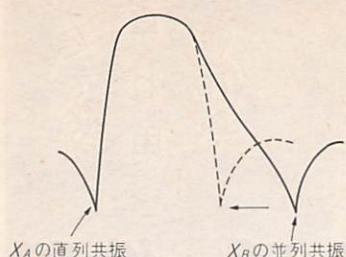
第6図 接地式フィルター（USB型）



第7図 第6図の回路の特性



第8図 特性を改善した接地式フィルター



おおむね「2パス式のフィルター」方式が使われています。第9図からわかるように、 X_{C1} の通路と逆相を通る X_{C2} の二つの道があります。それぞれの周波数を少しずらしておくと、直列共振点が合成されバンドパス・フィルターとなります。

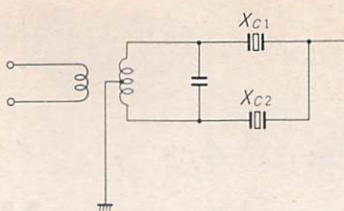
アマチュアは水晶自体を作ることはできませんので、この種のフィルターは作れません。ただし、秋葉原ではCB用に作られた水晶で接近した周波数を安価に見つけることができますが、いきあたりばったりのジャンク品を使うわけですから、希望のものを作るのはむずかしくなります。

簡単に第10図の回路で実験したところ、第11図のような素直な特性が得られました。

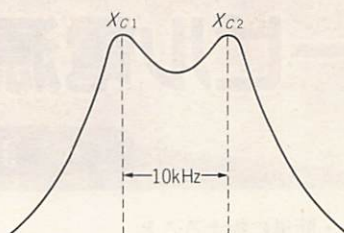
メーカーでは共振回路を使ってシャープな特性を得ていますが、リップルも多いので、2～3段重ね、その周波数を少しずらして消しています。アマチュアではとても真似ができません。

アマチュアが作れるのは特性は落ちるがリップルの少ないものを作り、それを重ねて希望のフィル

第9図 バンドパス・フィルターとして動作させる回路



第11図 第10図の回路の特性



ターに仕上げるのがうまい方法ではないでしょうか。

● 3倍高調波フィルター

水晶は基本波だけでなく3倍、5倍と奇数の周波数にも共振点を持っており、これらを使ってフィルターを作ることができます。

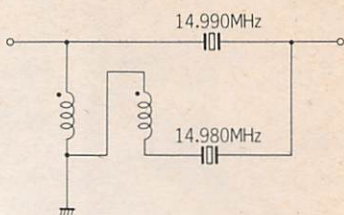
これらは基本波よりもピークが弱く、さらに直並列共振周波数も狭いので、フィルターにするには段数も多くしなければならず、むずかしいので、どうしても測定器が必要になってきます。

* * *

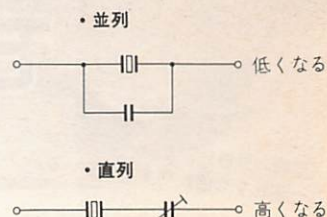
本項のまとめとして、水晶共振回路の復習をしておきます。

水晶に並列にコンデンサーを入れると共振周波数は下がりますし、直列に付けると周波数は上がります(第12図)。これもあまり容量

第10図 バンドパス・フィルターの実験に用いた回路



第12図 コンデンサーによる共振点の変化



を大きくすると動作が不安定になります。わずかな補正にはフィルターの通過帯域の変化にこの方法で効果がありますので試してみてください。

ただし、この方法は特性の良いコンデンサーでないと予想外に特性が悪化しますので注意を要します。なぜなら水晶の共振はQが高いからで、ここにQの低いものをぶら下げるのですから当然です。

《参考文献》

- ・JA6BI 田縁 昭「ラダー型クリスタル・フィルター設計とその特性」HAM Journal No.44 CQ出版
- ・「トロイダル・コア活用百科」CQ出版

ICOM KENWOOD DIAMOND COMET

受験から開局まで……おまかせください。

- 無線機・アンテナ・周辺機器各社取扱
- アンテナ工事ご相談ください。
- 下取・買取OK
- 月販即決持ち帰り可
- 各種申請書・書籍完備

短信

シンプル操作のIC-W2Iに加え、使って便利な機能が満載のIC-W2ITがアイコムより新登場！その便利さ使いやすさを店内にて一度お試しください。

三永電子商会

〒177 東京都練馬区関町北1-11-15 TEL 03(3928)1401
営業時間：午前10時～午後8時 毎週水曜定休

